

Podstawy geodezji

dr inż. Stefan Jankowski
s.jankowski@am.szczecin.pl

Systemy i układy odniesienia

- **System odniesienia** (reference system) to zbiór zaleceń, ustaleń, stałych i modeli niezbędnych do określenia pochodzenia, skali, orientacji osi układu współrzędnych i ich zmienności w czasie
- **Układ odniesienia** (reference frame) stanowi praktyczną realizację systemu odniesienia. Jest on zdefiniowany poprzez zbiór fizycznych punktów o dokładnie wyznaczonych współrzędnych w układzie określonym w definicji systemu odniesienia
- **Układ współrzędnych** (coordinate system) określa jednoznacznie sposób przyporządkowania zbioru wartości liczbowych (współrzędnych punktu) położeniu punktu w przestrzeni względem osi tego układu

Modele Ziemi



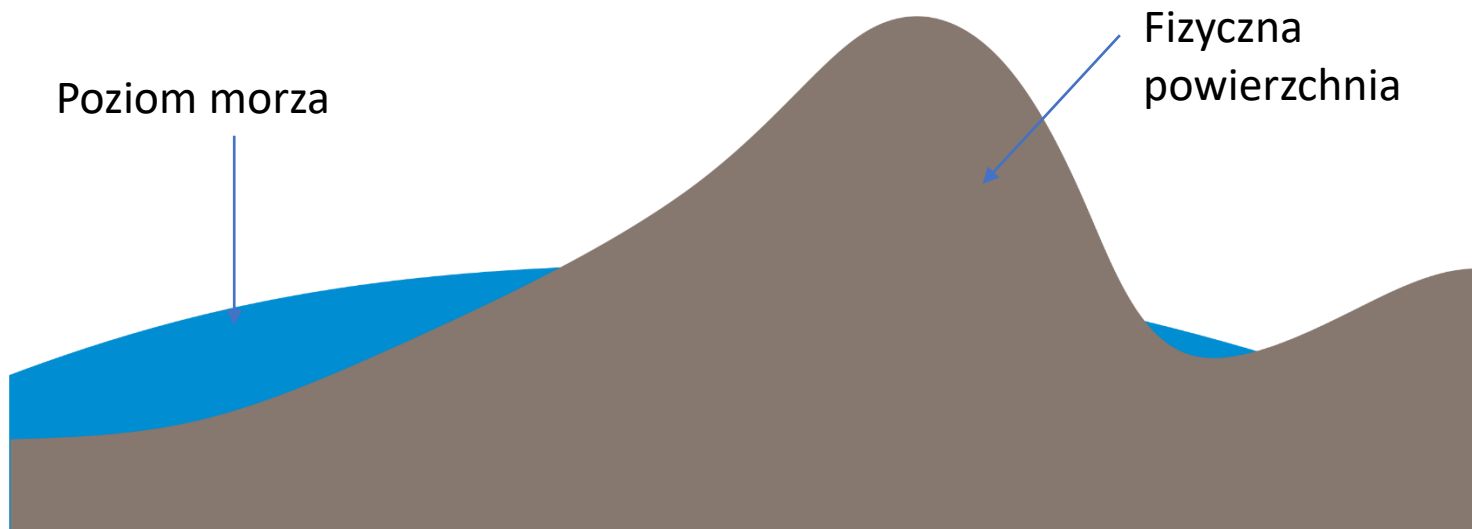
Płaska Ziemia



Kula

Powierzchnia odniesienia

- Fizyczna powierzchnia Ziemi jest bardzo skomplikowana i ma złożone kształty
- Z tych powodów ustalono pewien poziom, do którego odnoszą się pomiary powierzchni Ziemi.
- Jako poziom odniesienia przyjęto do poziomu mórz i oceanów z pełną równowagą zawartych w nich mas wody



Geoida

Powierzchnia ekwipotencjalna ziemskiego pola grawitacyjnego, która wykazuje najlepsze dopasowanie, w sensie najmniejszych kwadratów, do powierzchni globalnego średniego poziomu morza



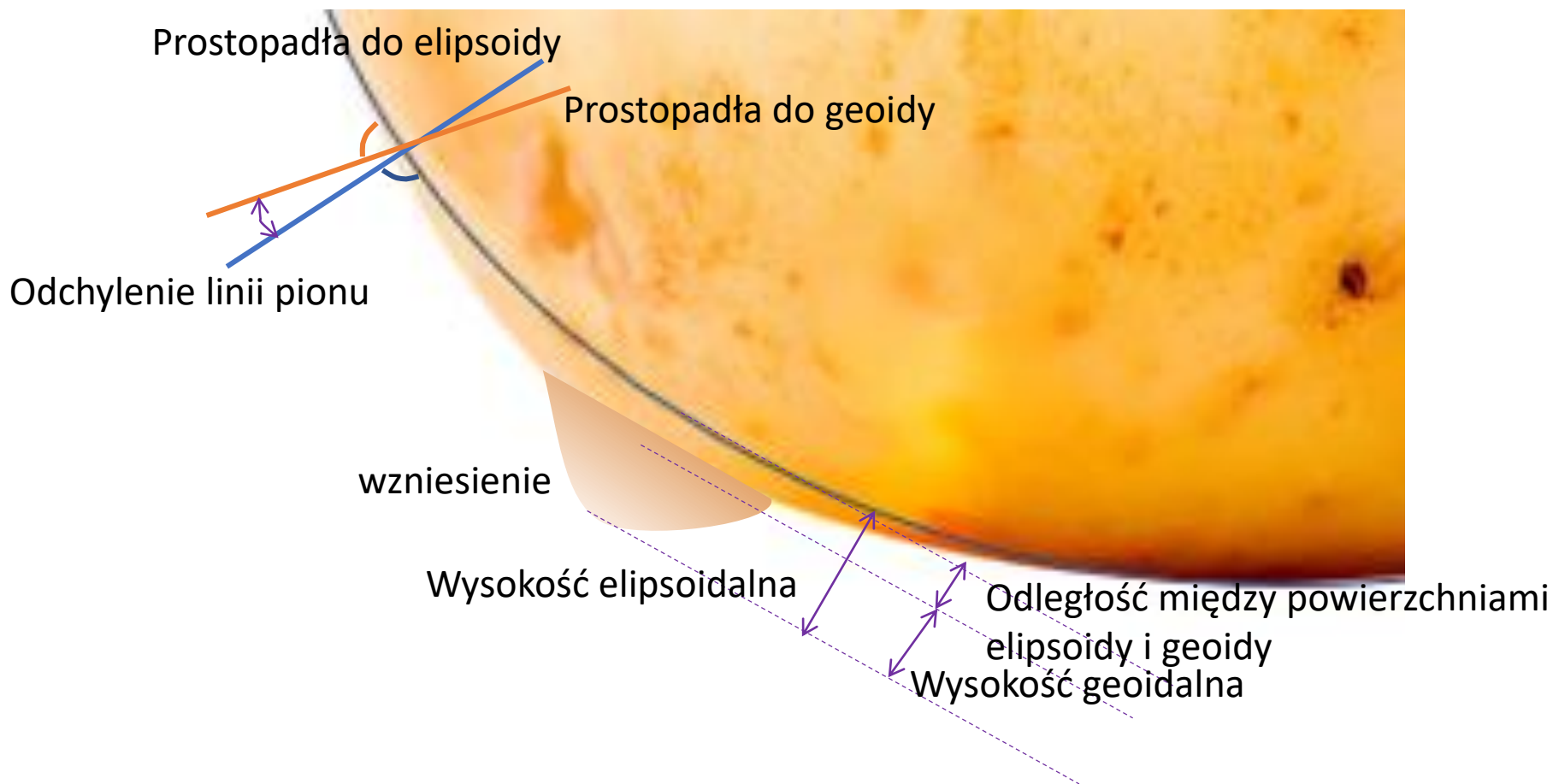
Elipsoida



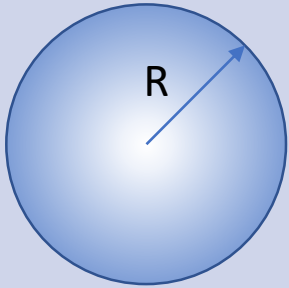
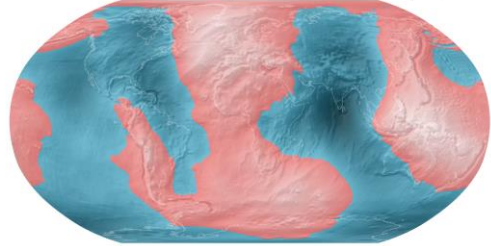
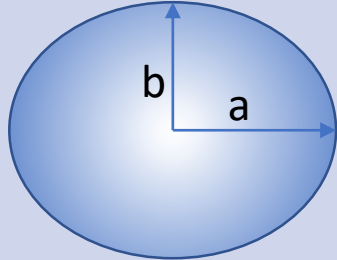
Elipsoida odniesienia (elipsoida obrotowa) - bryła matematyczna, najbardziej zbliżona do kształtu geoidy, którą można opisać analitycznie. Jest to powierzchnia zamknięta, powstała z obrotu elipsy wokół małej osi symetrii.

Porównanie elipsoidy i geoidy

Ze względu na asymetrycznie rozłożenie mas w Ziemi, grawitacja ma nieregularny przebieg. Z tego powodu nie można wykorzystać geoidy jako dokładnej powierzchni odniesienia przy ustalaniu punktów



Powierzchnie odniesienia

kula	geoida	elipsoida
	Deviation of the Geoid from the idealized figure of the Earth (difference between the EGM96 geoid and the WGS84 reference ellipsoid)  Red areas are above the idealized ellipsoid; blue areas are below. -107.0 m 0 m +85.4 m	
R = 6371000 m		a = 6 378 137 m
		b = 6 356 752,3142 m
		f = 1/298,257223563
		e = 0,081819

gdzie:

R = średni promień ziemski

a – półoś wielka

b – półoś mała

f – spłaszczenie

e – ekscentryczność

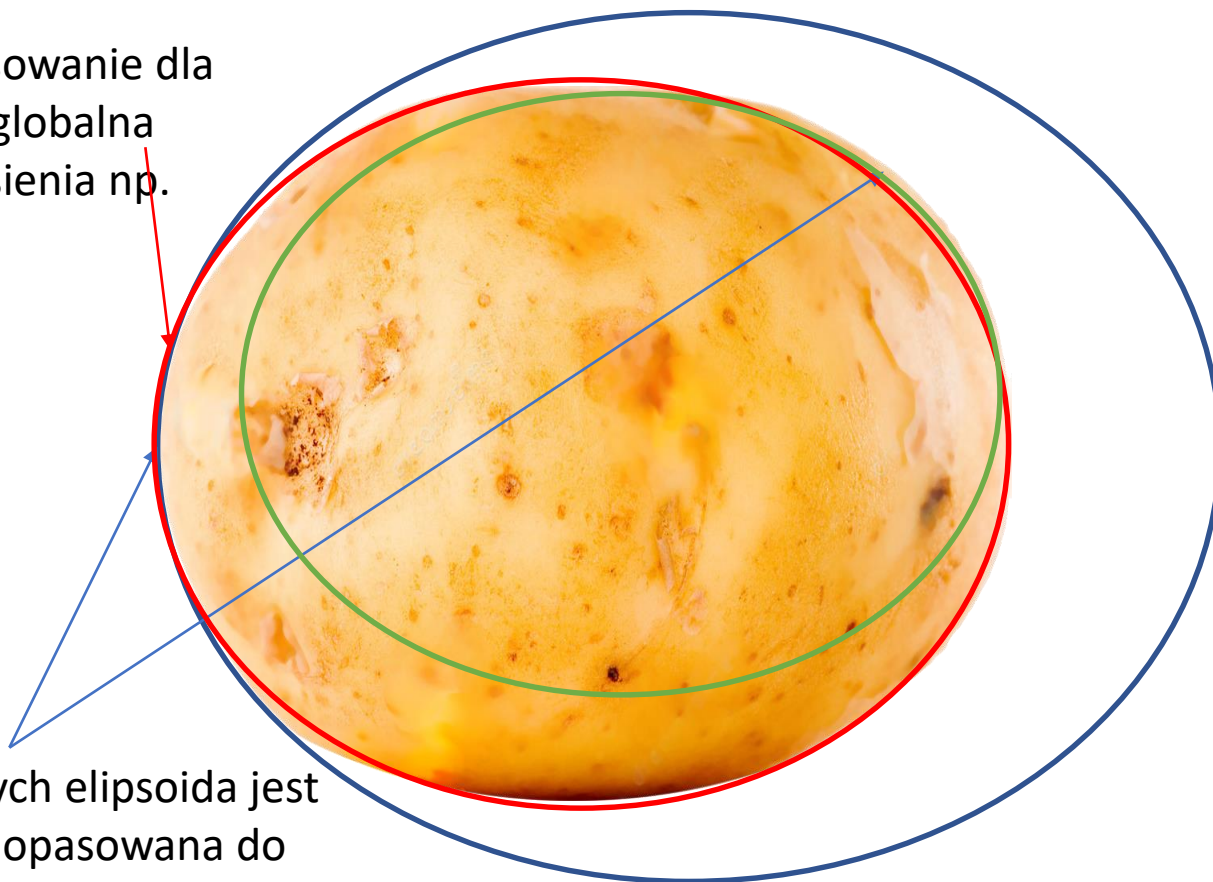
$$f = \frac{a - b}{a}$$

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

Elipsoidy: lokalne i globalne

Najlepsze dopasowanie dla całej geoidy => globalna elipsoida odniesienia np. WGS84

Obszary, w których elipsoida jest bardzo dobrze dopasowana do geoidy (lokalne systemy odniesienia)

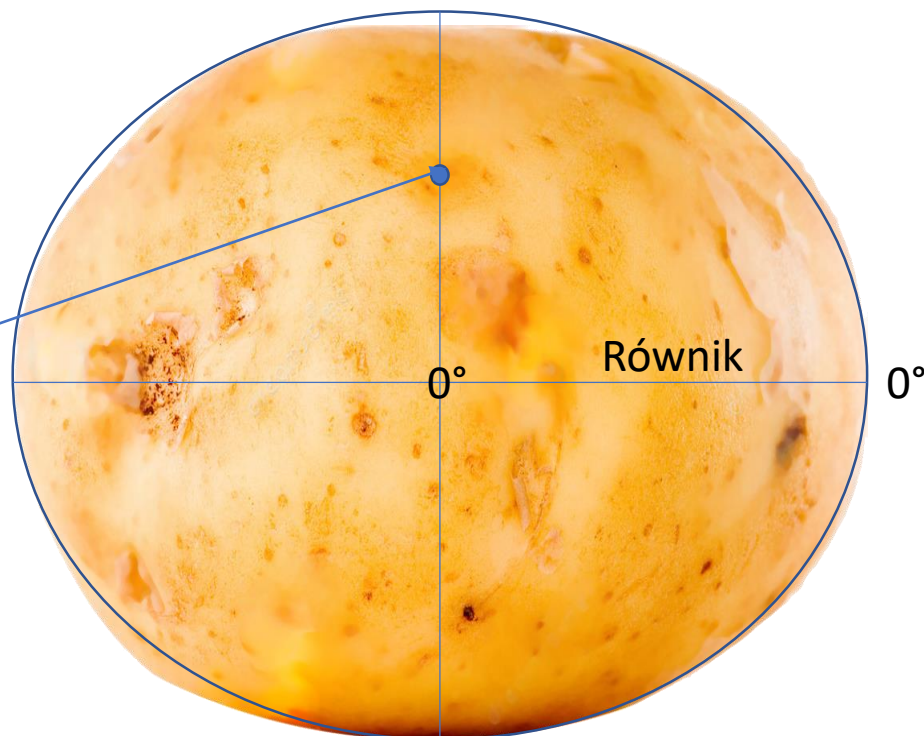


Elipsoidy odniesienia

Nazwa	Duża półoś (m)	Mała półoś (m)	Odwrotność spłaszczenia
Modified Everest (Malaya) Revised Kertau	6 377 304,063	6 356 103,038993	300,801699969
Timbalai	6 377 298,56	6 356 097,55	300,801639166
Sferoida Everesta	6 377 301,243	6 356 100,228	300,801694993
Maupertuis (1738)	6 397 300	6 363 806,283	191
Delambre (1810}	6 376 985,0		308 6465
Everest (1830)	6 377 276,345	6 356 075,413	300,801697979
Airy (1830)	6 377 563,396	6 356 256,909	299,3249646
Bessel (1841)	6 377 397,155	6 356 078,963	299,1528128
Clarke (1866)	6 378 206,4	6 356 583,8	294,9786982
Clarke (1880)	6 378 249,145	6 356 514,870	293,465
Helmert (1906)	6 378 200	6 356 818,17	298,3
Hayford (1910)	6 378 388	6 356 911,946	297
Międzynarodowa (Hayford 1924)	6 378 388	6 356 911,946	297
NAD 27	6 378 206,4	6 356 583,800	294,978698208
Krassowski (1940)	6 378 245	6 356 863,019	298,3
WGS-66 (1966)	6 378 145	6 356 759,769	298,25
Australian National (1966)	6 378 160	6 356 774,719	298,25
Nowa Międzynarodowa (1967)	6 378 157,5	6 356 772,2	298,24961539
GRS-67 (1967)	6 378 160	6 356 774,516	298,247167427
Południowo-Amerykańska (1969)	6 378 160	6 356 774,719	298,25
WGS-72 (1972)	6 378 135	6 356 750,52	298,26
GRS 80 (1979)	6 378 137	6 356 752,3141	298,257222101
NAD 83	6 378 137	6 356 752,3	298,257024899
WGS-84 (1984)	6 378 137	6 356 752,3142	298,257223563
ERS (1989)	6 378 136	6 356 751,302	298,257
Sfera (6371 km)	6 371 000	6 371 000	∞

Układ odniesienia

Układ odniesienia. W geodezji układem odniesienia nazywamy zbiór punktów odniesienia na powierzchni Ziemi i (często) powiązany modelem kształtu Ziemi (elipsoidą odniesienia) używanym do definiowania układu współrzędnych geograficznych. Poziome odniesienia są używane do opisu położenia punktu na powierzchni Ziemi, w szerokości i długości geograficznej lub innych odpowiednich współrzędnych



Południk Greenwich - 0°
Królewskie Obserwatorium



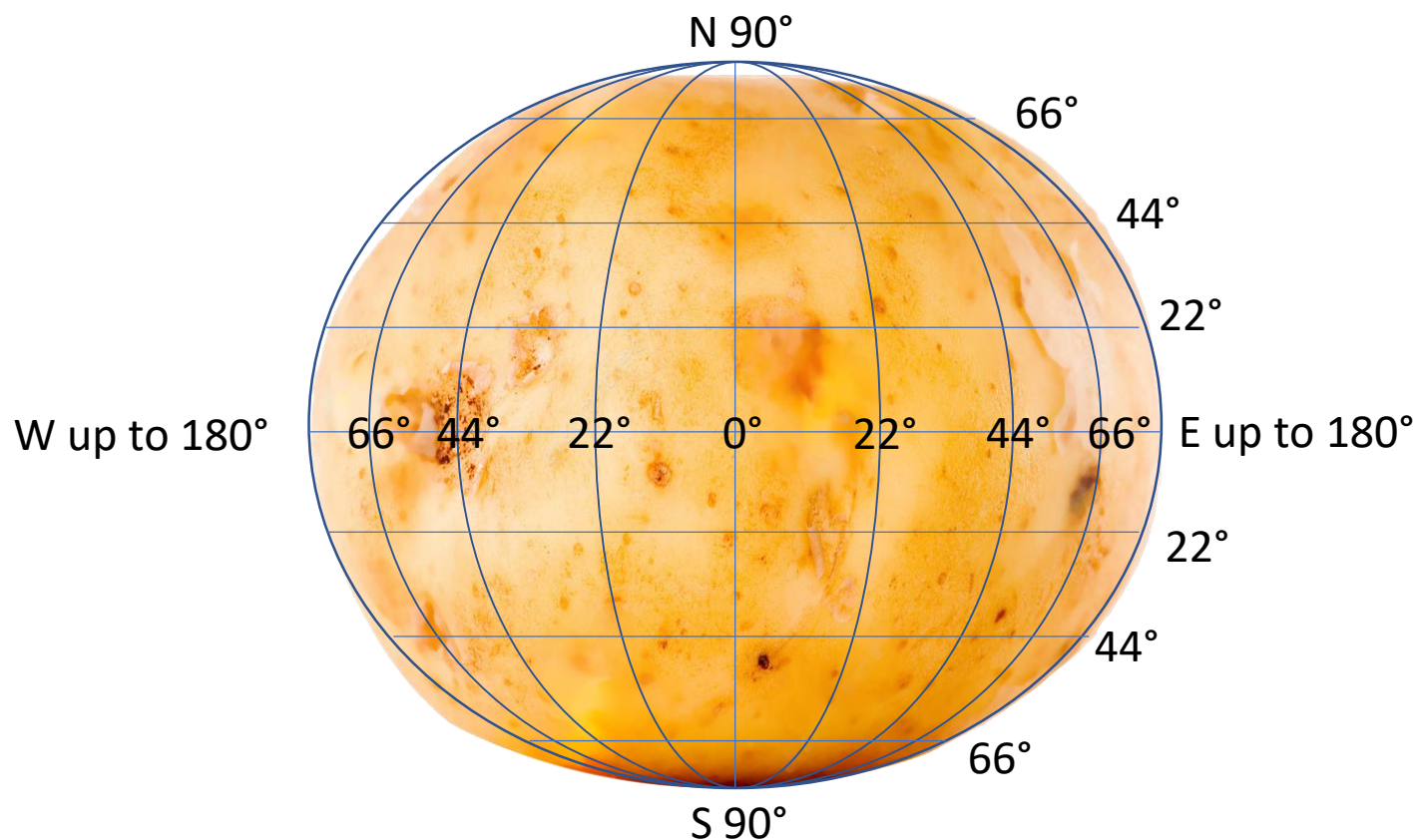
Układ współrzędnych

- Ziemski układ współrzędnych
 - Stały względem skorupy ziemskiej i obracający się wraz z nią
 - Początek leży w lub w pobliżu środka ziemskiej grawitacji (w układzie geocentrycznym, lub leży na powierzchni Ziemi (system topocentryczny)
 - Opisuje pozycję na / w pobliżu powierzchni Ziemi
- Układ współrzędnych astronomicznych
 - Związany z układem słonecznym, stosowany do określania współrzędnych ciał niebieskich
 - Współrzędne orbitalne używane do opisu położenia satelitów na orbicie wokół Ziemi

Ziemiński układ współrzędnych

- Współrzędne geograficzne
 - Podstawą są pomiary kątowe
 - Kierunek północ – południe to szerokość $\pm 90^\circ$
 - Kierunek wschód – zachód to długość $\pm 180^\circ$
- Współrzędne prostokątne
 - Oparty na trójosiowym systemie prawoskrętnym (x,y,z)
 - Używany do ustalania pozycji na powierzchni elipsoidy
 - Jednostką zazwyczaj jest metr

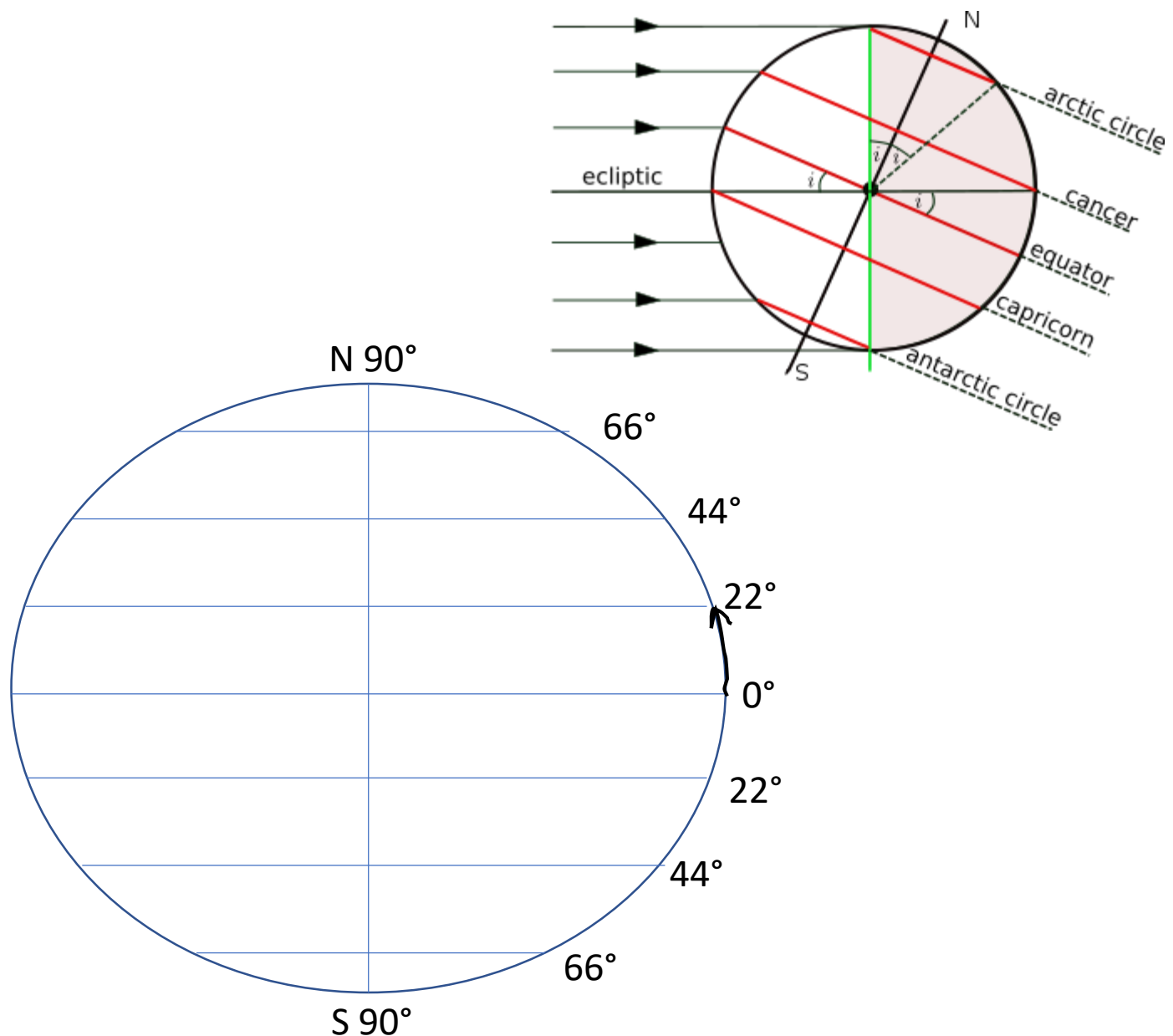
Współrzędne geograficzne



Szerokość – od 0° na równiku do $+90^\circ$ na północ i do -90° na południe

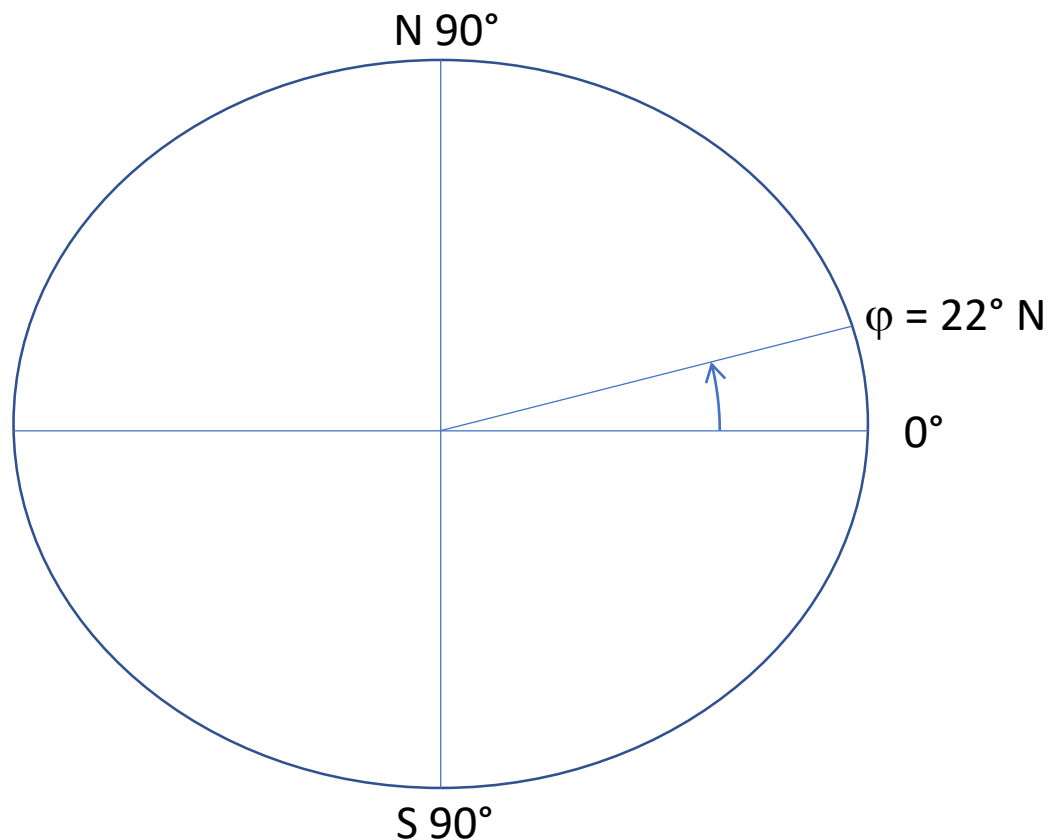
Długość – od południka 0° , przechodzącego przez Obserwatorium w Greenwich do $+180^\circ$ na wschód i do -180° na zachód

Szerokość



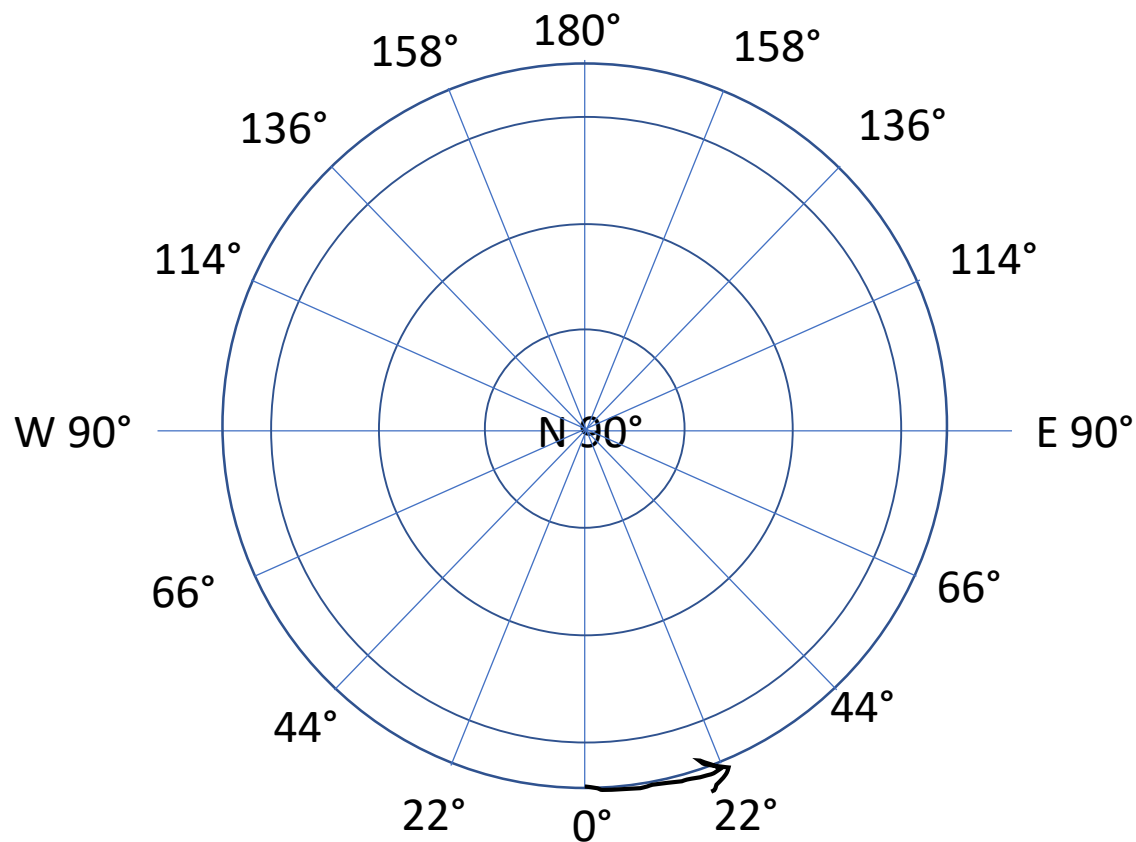
Długość łuku południka wyrażona w mierze kątowej, mierzona od równika do równoleżnika na którym znajduje się dany punkt (N lub S do max. 90 °)

Szerokość



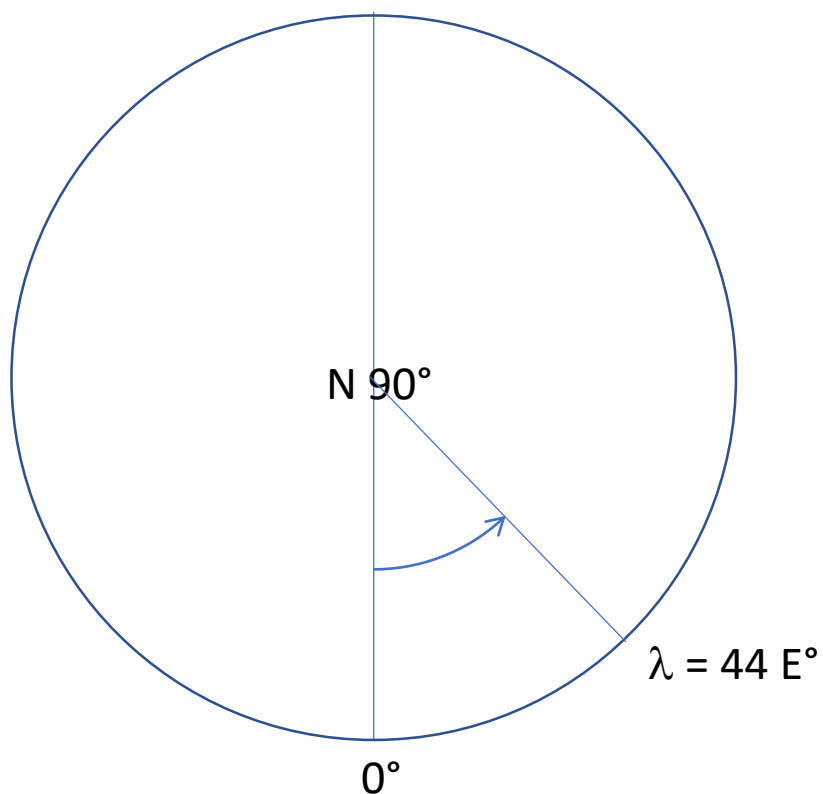
Kąt pomiędzy płaszczyzną równika a linią poprowadzoną ze środka Ziemi i przechodzącą przez dany punkt (N lub S do max 90°)

Długość



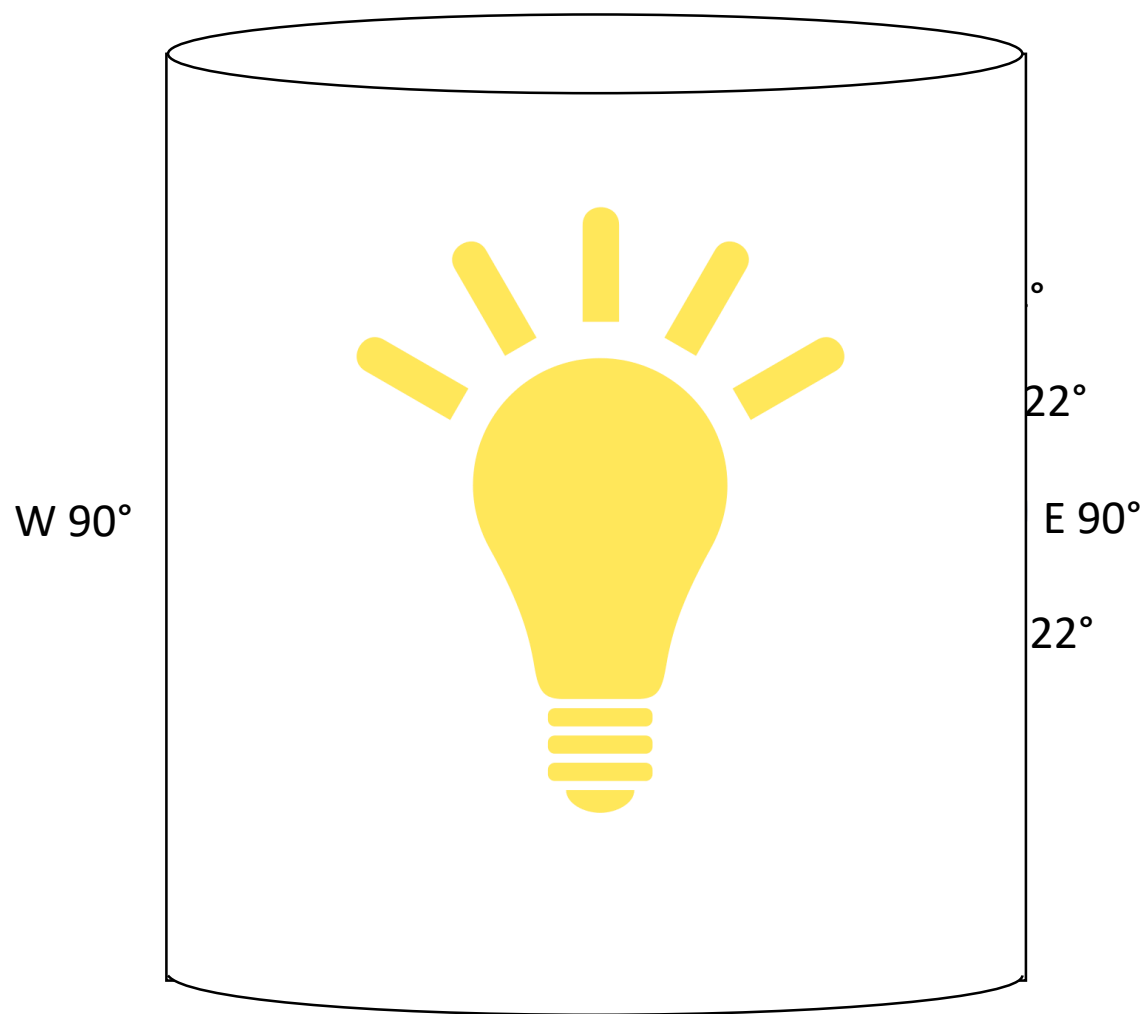
Długość łuku równika wyrażona w mierze kątowej, liczona od południka 0° do południka przechodzącego przez dany punkt (E lub W do max 180°)

Długość

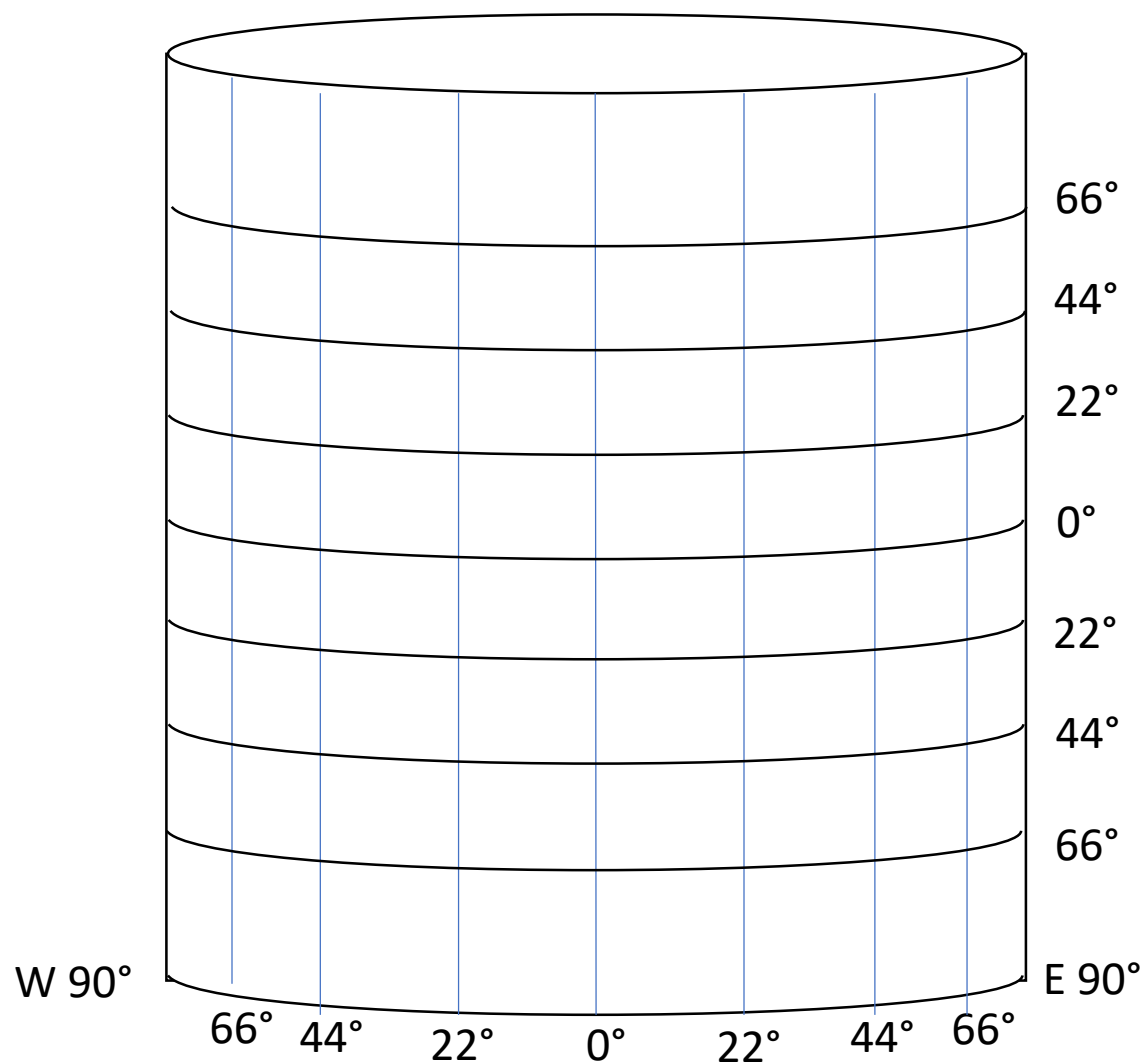


Kąt dwuścienny pomiędzy półpłaszczyzną południka 0° a półpłaszczyzną południka przechodzącą przez dany punkt na E i na W do max 180°

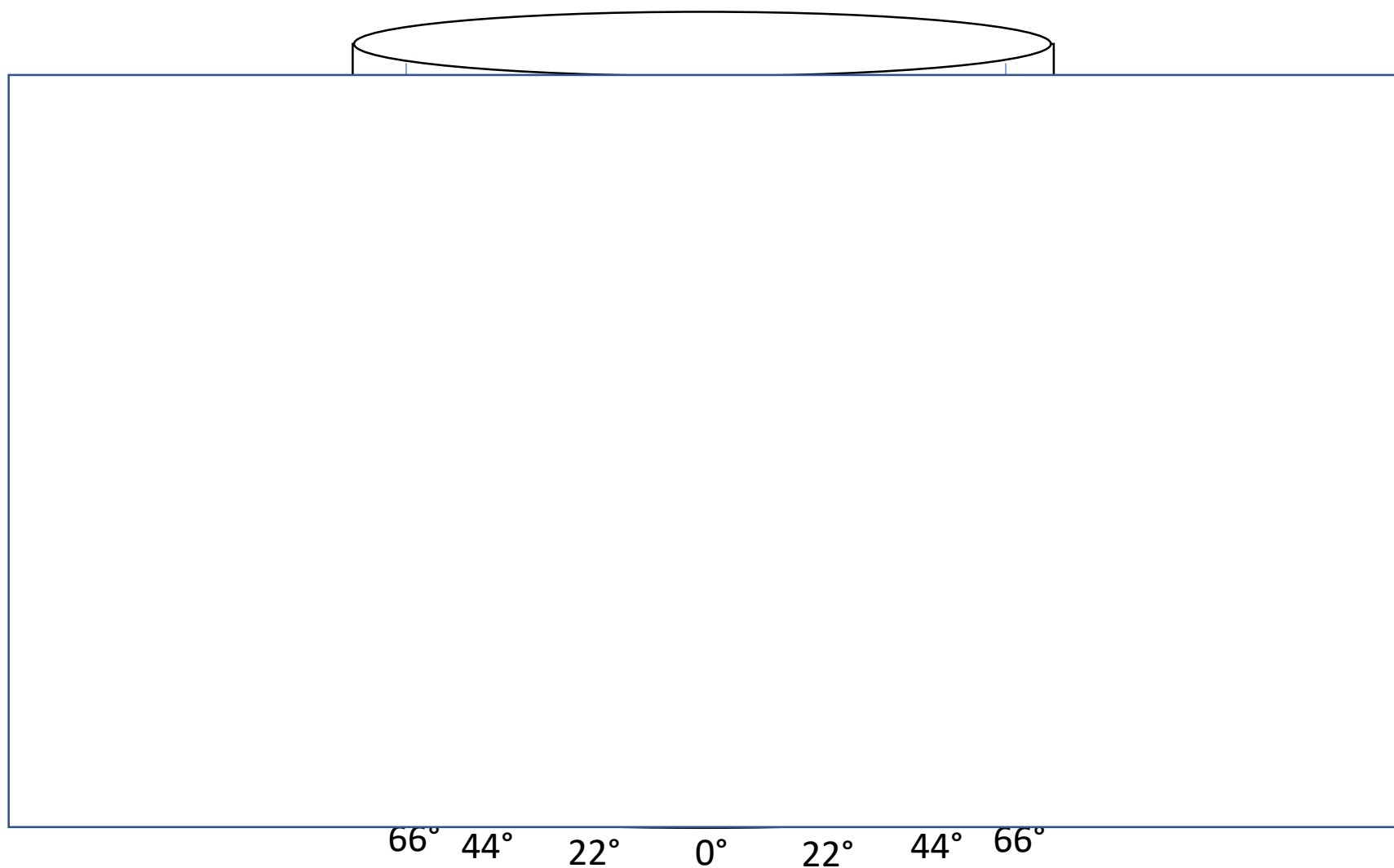
Odwzorowanie Mercatora



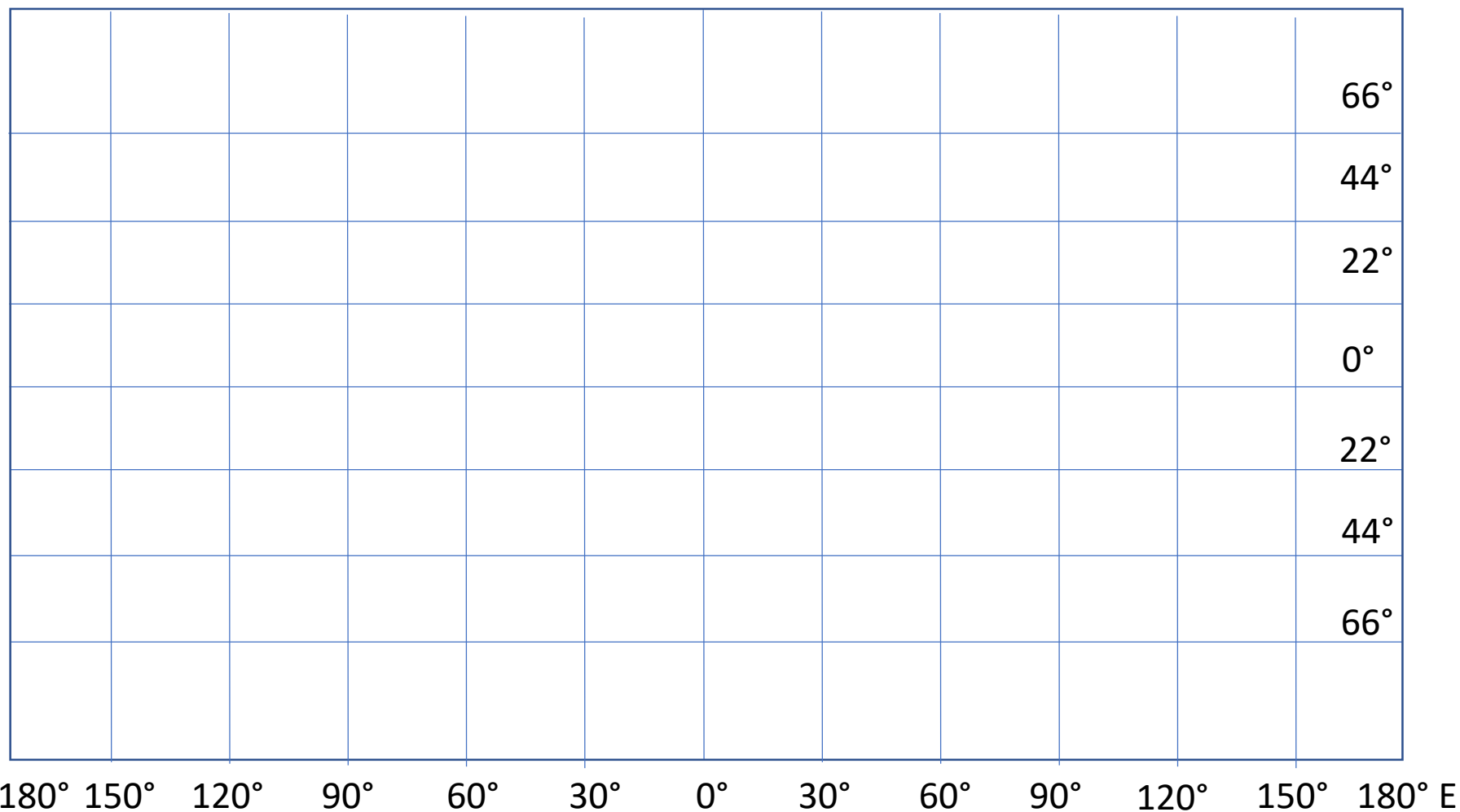
Odwzorowanie Mercatora



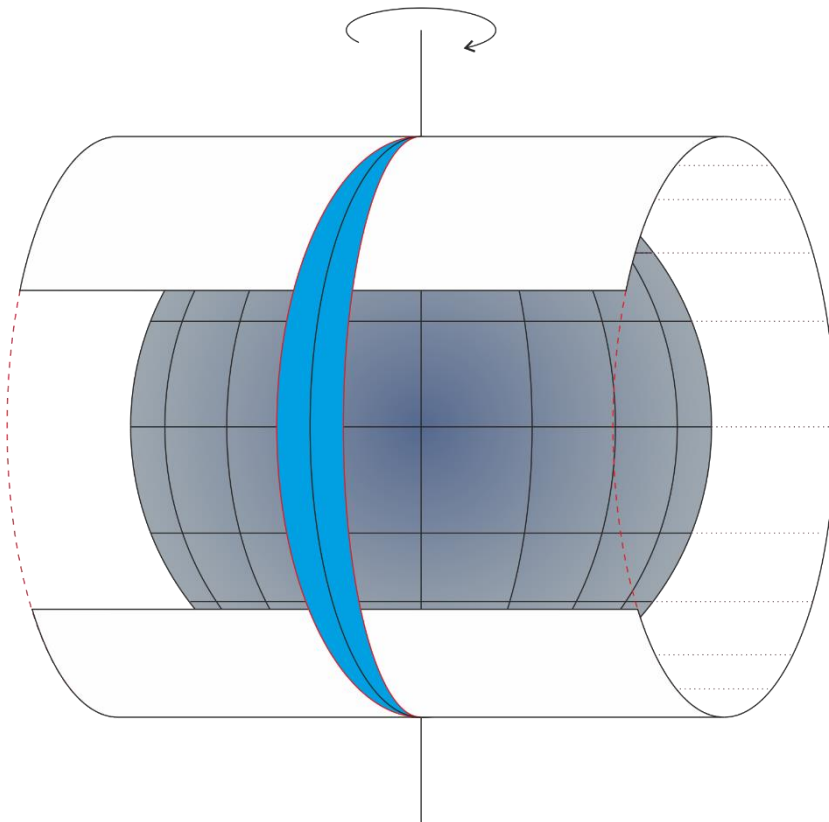
Odwzorowanie Mercatora



Odwzorowanie Mercatora

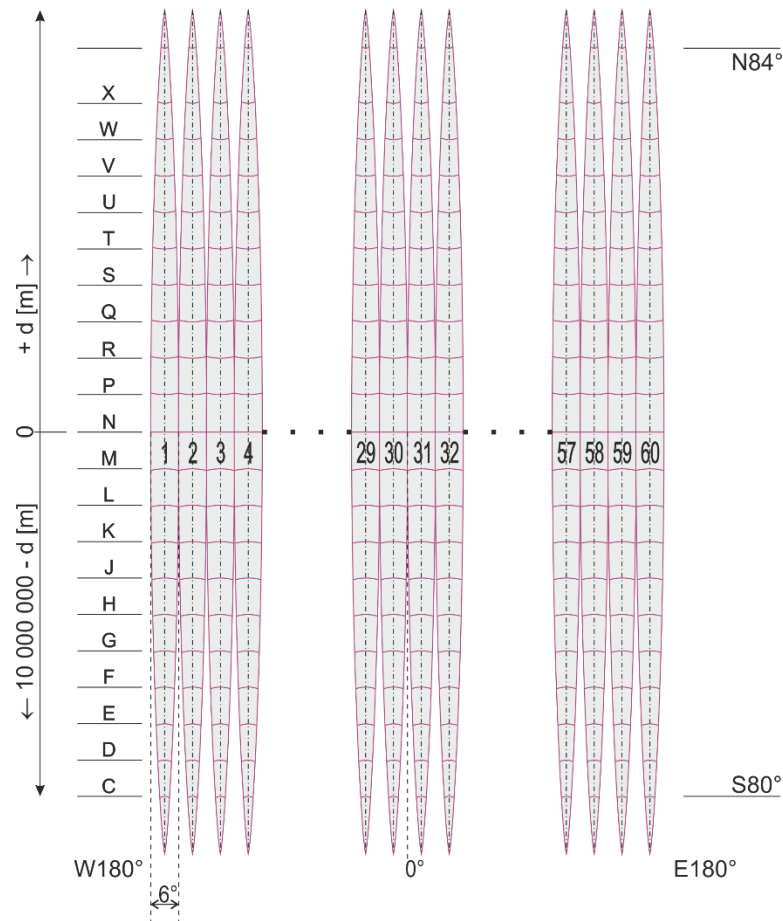


Universal Transversal Mercator UTM



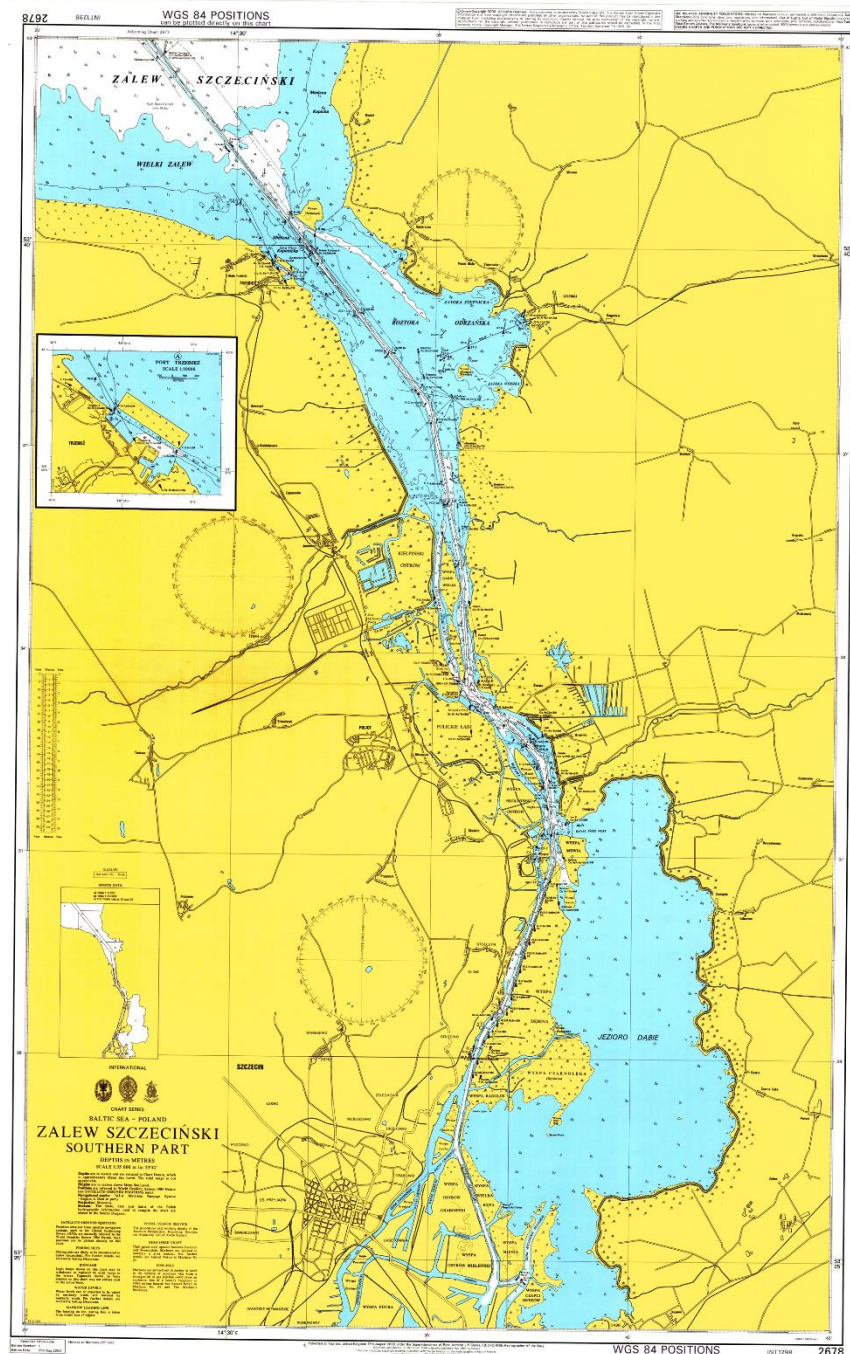
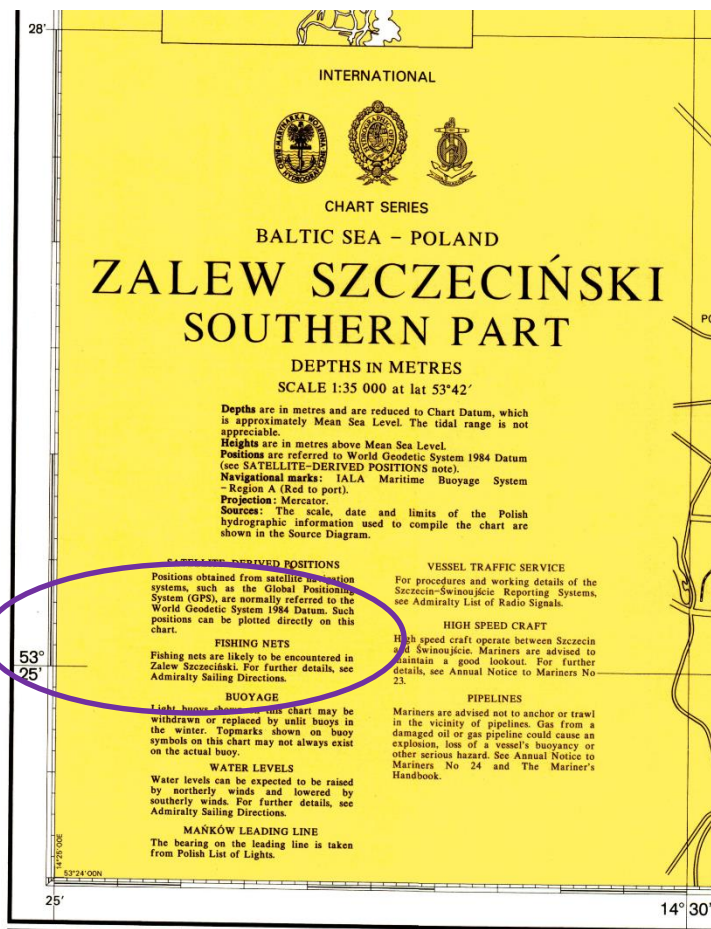
- Południk styczny (osiowy, centralny) co 6 stopni długości geograficznej, co daje 60 stref po 6 stopni
- Pierwsza strefa W180 – W174
- Strefy podzielone na 20 pasów od C do X (poza „I” i „O”)
- Każdy pas po 8 stopni szerokości geograficznej, poza X (12 stopni)

UTM: northing, easting

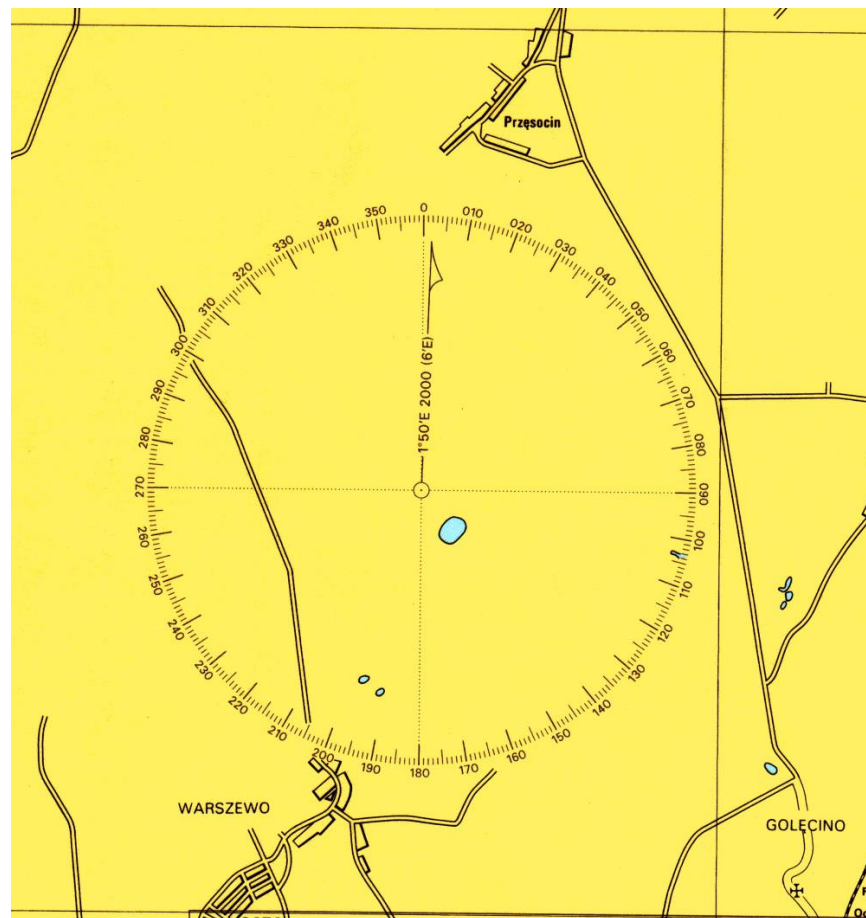


- Northing – na półkuli północnej: odległość w metrach od równika na północ (do N84)
- Northing – na półkuli południowej: 10 mln minus odległość [m] od równika na południe (do S80); “false northing”
- Easting – odległość [m] od południka centralnego + 500 000 m; „false easting”
- Dodatnie wartości współrzędnych

Mapa nawigacyjna



Kierunki na mapie nawigacyjnej



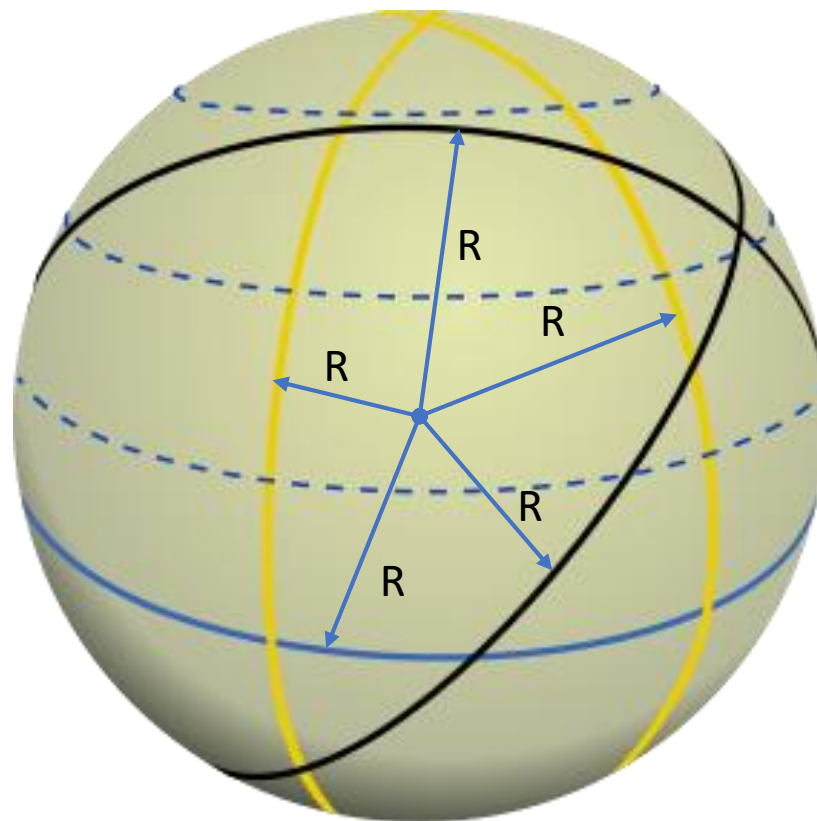
Mila morska

- **Mila morska (Mm, ang.: *nautical mile* – NM, *International Nautical Mile* – INM)** – jest jednostką odległości stosowaną w nawigacji morskiej oraz lotnictwie.
- Jest to długość łuku południka ziemskiego odpowiadająca jednej minucie kątowej koła wielkiego.
- W rzeczywistości ze względu na kształt kuli ziemskiej (Geoida) długość łuku 1 minuty kątowej jest różna w zależności od szerokości geograficznej, dlatego umownie przyjęto długość uśrednioną

Mila morska / nautical mile

- 1 NM $\rightarrow$ 1'
1 NM = 40 000 km / (360° $\times$ 60') =
1851,852 m $\approx$ 1 852 m
- 1 NM = 10 kabli

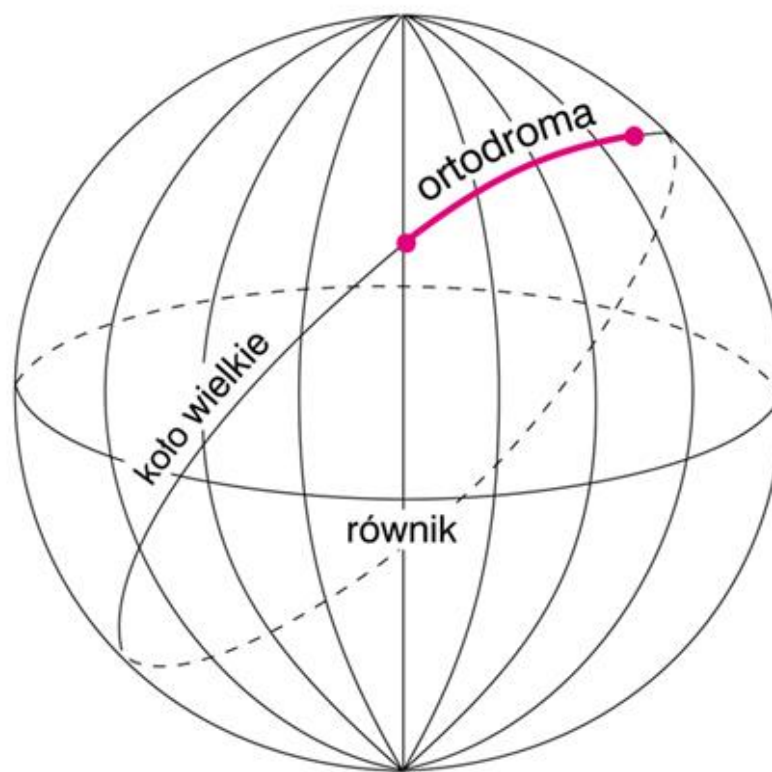
Koło wielkie – największe koło, jakie można wpisać w kulę. Jego średnica jest równa średnicy kuli, a samo koło dzieli ją na dwie symetryczne połowy, zwane półkulami. Jest to ślad płaszczyzny na kuli / sferze, która przechodzi przez jej środek.



Ortodroma / great circle / gc

ortodroma [gr] prostobieżna, najkrótsza linia łącząca 2 punkty na powierzchni kuli o. jest łuk koła wielkiego, przechodzącego przez dane 2 punkty; na powierzchni kuli ziemskiej, w przeciwieństwie do loksodromy, o. przecina południki pod różnymi kątami.

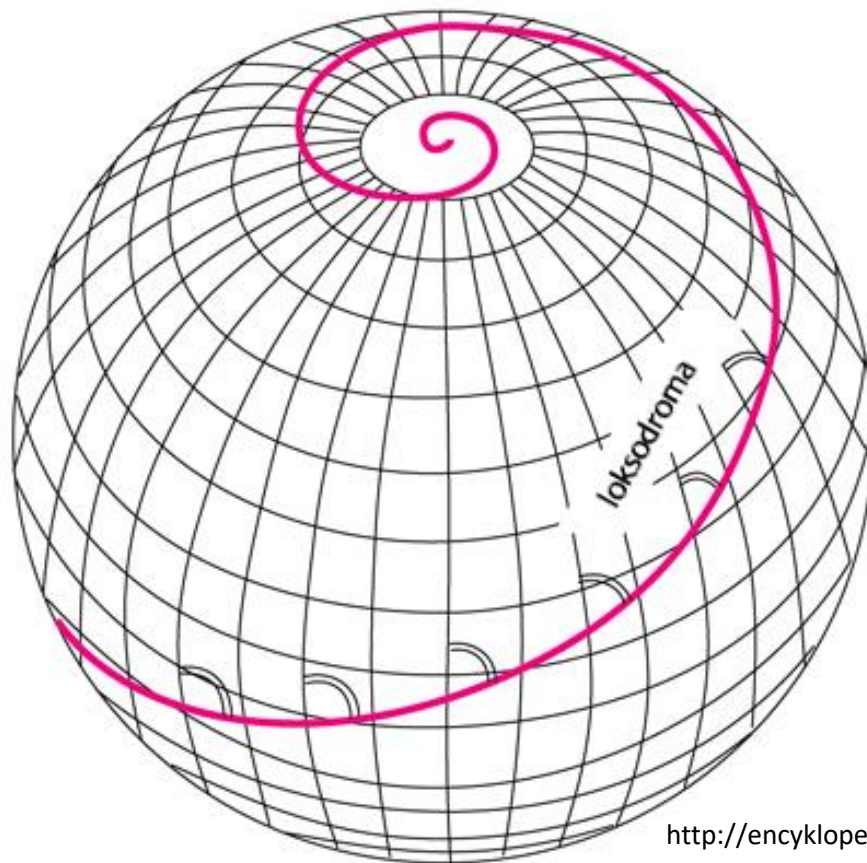
Oznaczenie **GC** (lub podobne – należy zweryfikować w instrukcji obsługi) na wyświetlaczu odbiornika wskazuje, że żegluga odbywa się po ortodromie: odległość jest obliczana po kole wielkim a namiar jest początkowym kątem ortodromy



<http://encyklopedia.pwn.pl/>

Loksodroma / rhumb line / rl

loksodroma [gr.] skośnobieżna, linia na powierzchni kuli przecinająca wszystkie południki tej powierzchni pod stałym kątem α ; gdy α jest kątem ostrym lub rozwartym ($\alpha \neq 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$), to l. ma kształt spirali z punktem asymptotycznym na biegunie; na mapie sporządzonej w odwzorowaniu Mercatora l. jest linią prostą, co znajduje zastosowanie w nawigacji (droga po l. oznacza drogę po stałym kursie); termin l. wprowadził Snellius (1624).



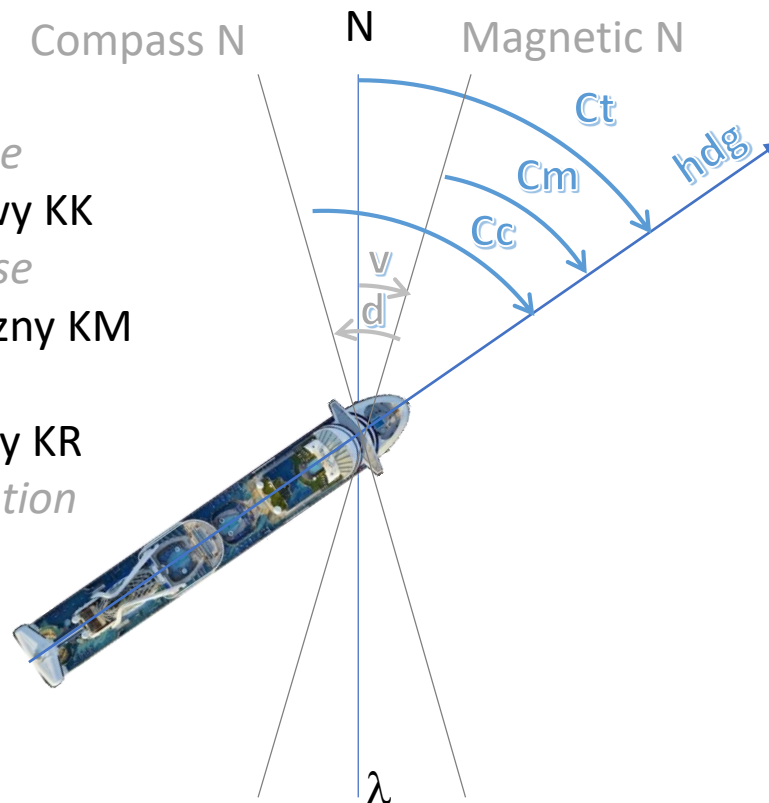
RL (lub podobne – należy zweryfikować w instrukcji obsługi) na wyświetlaczu odbiornika wskazuje, że żegluga odbywa się po loksodromie: odległość jest obliczana po loksodromie a namiar jest namiarem na cel lub kolejny punkt drogi

Heading – Kurs

Heading (hdg) – zorientowanie statku (dziobu) względem północy
kąt pomiędzy północną częścią lokalnego południka a dziobową częścią osi symetrii statku

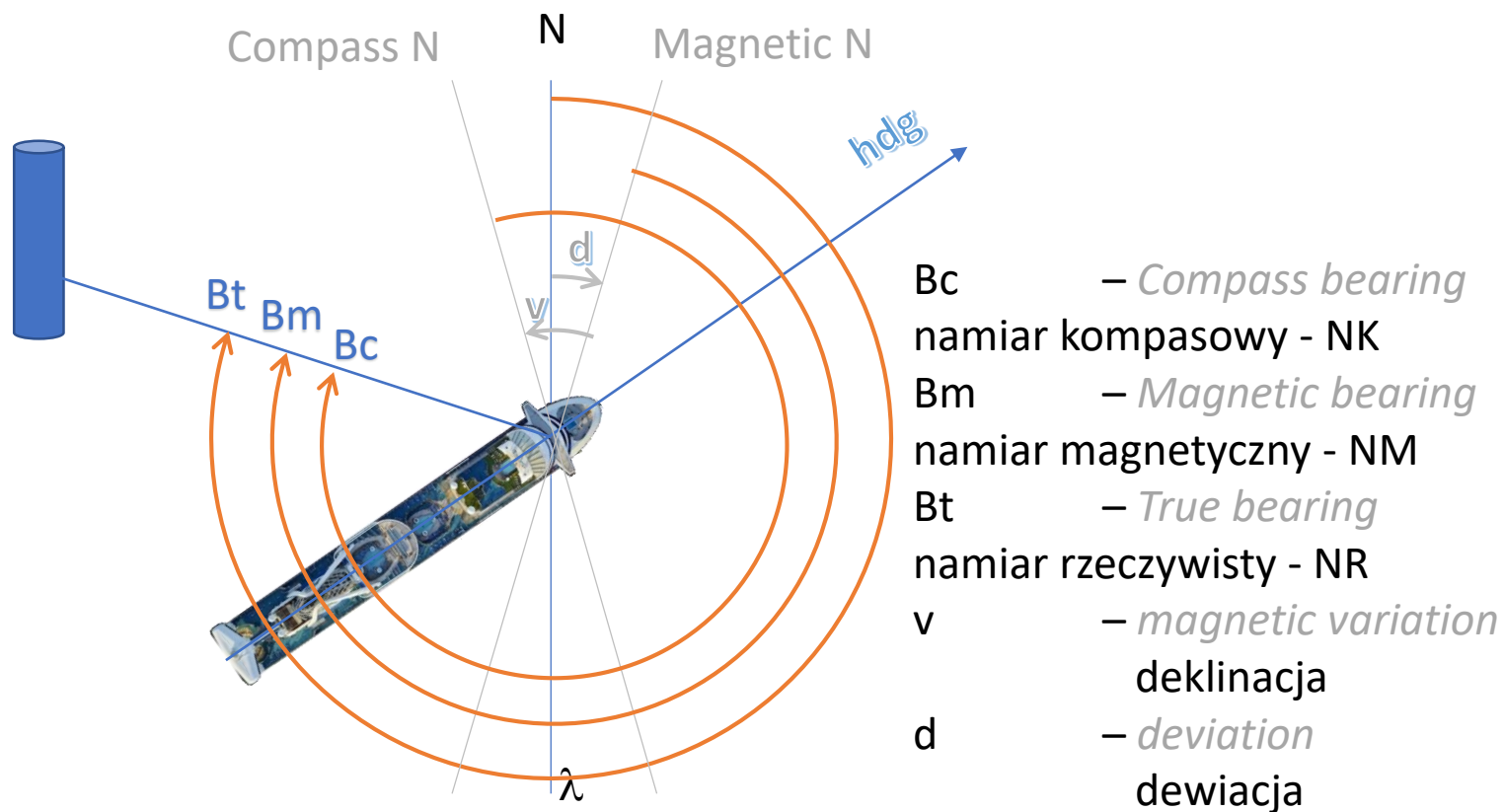
W zależności od przyjętej linii odniesienia, otrzymuje się:

- Cc – *Compass course*
kurs kompasowy KK
- Cm – *Magnetic course*
kurs magnetyczny KM
- Ct – *True course*
kurs rzeczywisty KR
- v – *magnetic variation*
deklinacja
- d – *deviation*
deviacja



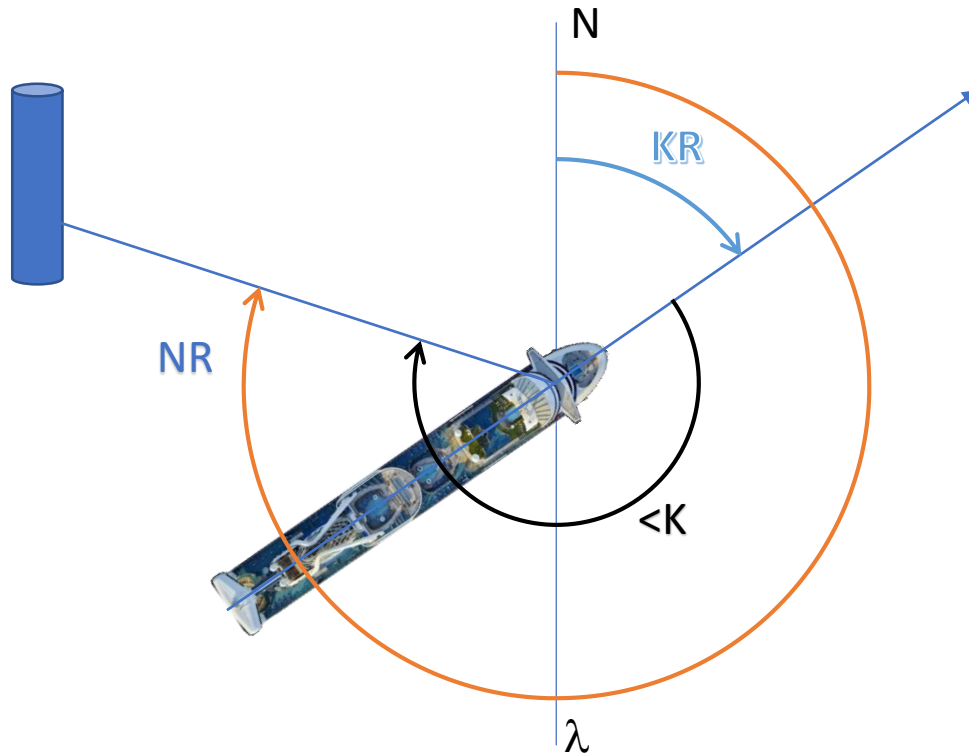
Namiar

NR – namiar rzeczywisty (ang. True bearing), kąt pomiędzy północną częścią lokalnego południka a linią łączącą obserwatora z namierzanym obiektem.



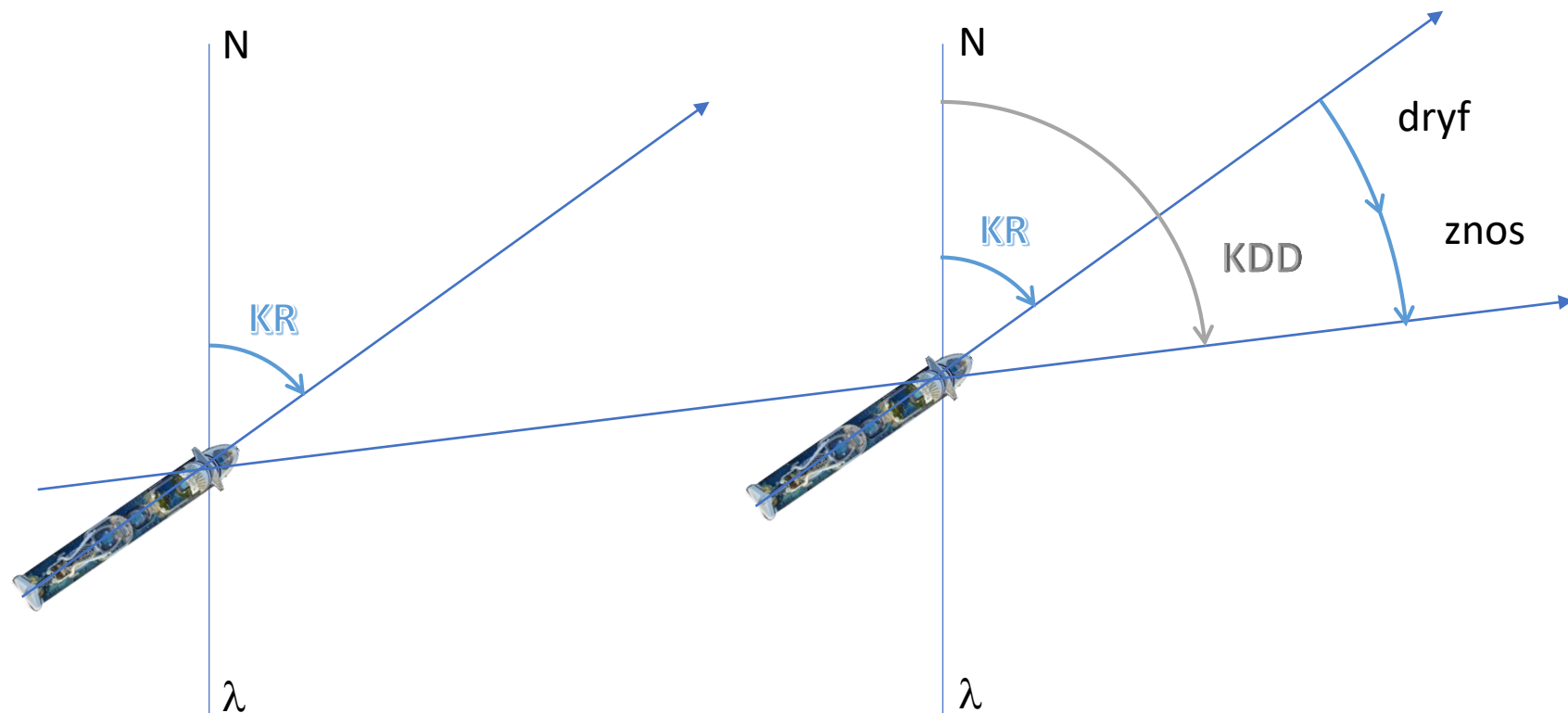
Kąt kursowy

$\angle K$ – kąt kursowy (ang. relative bearing), kąt pomiędzy dziobową częścią osi symetrii statku a linią łączącą obserwatora z namierzanym obiektem.



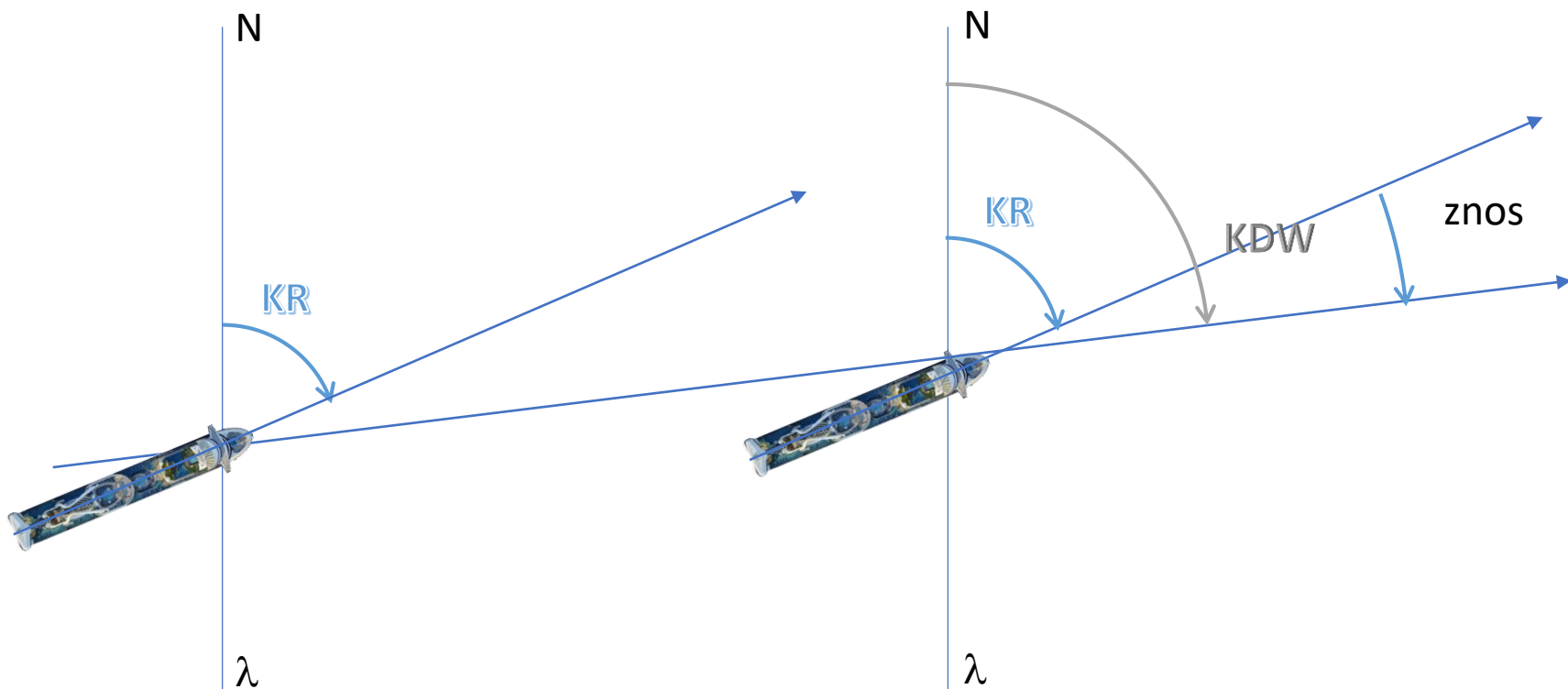
KDD, COG

KDD – kąt drogi nad dnem (ang. Course over ground), kąt pomiędzy północną częścią południka a linią drogi statku względem dna.



KDW, CTW

KDW – kąt drogi względem wody (ang. Course through water), kąt pomiędzy północną częścią południka a linią drogi statku względem wody.



Koniec